



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11317353 A

(43) Date of publication of application: 16 . 11 . 99

(51) Int. Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

H01J 37/305

(21) Application number: 11021110

(22) Date of filing: 29 . 01 . 99

(30) Priority: 04 . 02 . 98 US 98 17722

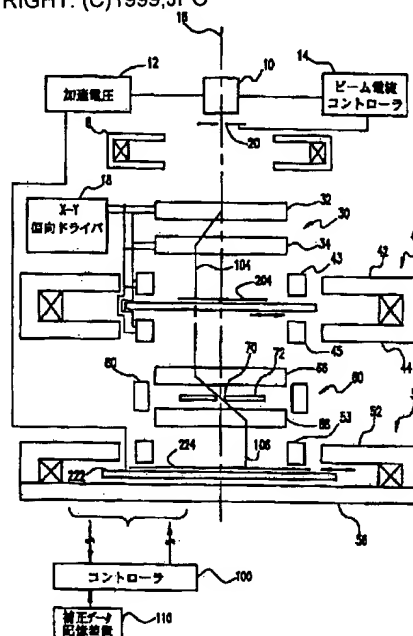
(71) Applicant: INTERNATL BUSINESS MACH
CORP <IBM>(72) Inventor: GOLLADAY STEVEN D
PAUL F PETRICK
PFEIFFER HANS C
BERNAR STICKEL(54) ELECTRON BEAM PROJECTION DEVICE AND
ITS OPERATION METHOD

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide with good reliability, high resolution and throughput an extremely a feature size smaller than 0.25 micron method by applying a couple of physical structure with respect to basic element of an electron beam lithography exposure system and range of the combination of operating parameters.

SOLUTION: An electron beam projection system comprises an electron source 19 of high emissive power, an axis-variable lens 8, a curve beam trajectory 104, a reticule 204, and/or target movement in double scan mode. A target and/or a wafer 224 moves constantly in the direction orthogonal to beam scan. A high throughput is obtained in accordance with 0.1 μm feature size basic rule. Here, a column length longer than 400 mm, beam current of about 4-35 μA , beam energy of about 75-175 kV, sub-field size of 0.1-0.5 at a target in optical reduction factor of about 3:1-5:1, a numerical aperture which is larger than 2 milli radian (3-8 milli radian is preferred), and a scan length of about 20-55 mm, are used.



特開平11-317353

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) IntCl.⁶
 H 0 1 L 21/027
 G 0 3 F 7/20
 H 0 1 J 37/305

識別記号

5 0 4

F I

H 0 1 L 21/30

G 0 3 F 7/20

H 0 1 J 37/305

5 4 1 J

5 0 4

B

審査請求 有 請求項の数20 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-21110

(22) 出願日 平成11年(1999) 1 月29日

(31) 優先権主張番号 0 9 / 0 1 7 7 2 2

(32) 優先日 1998年2月4日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州

アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 ステイーブン・ディー・ゴラディ

アメリカ合衆国 12533 ニューヨーク州

ホープウェル ジャンクション タコニ

ック ドライブ 25

(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

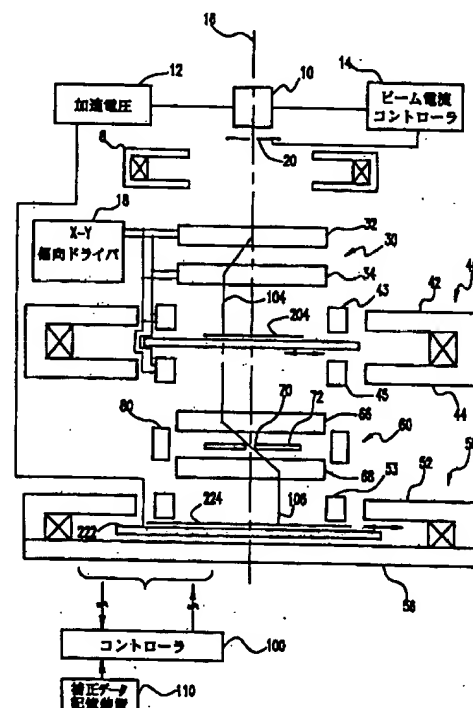
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム投影装置およびその動作方法

(57) 【要約】

【課題】 十分な解像度を有する電子ビーム投影装置を提供する。

【解決手段】 電子ビーム投影装置は、高い放射度の電子源10、軸可変レンズ8、曲線ビーム飛しょう経路104、レチクル204、および/または二重走査モードにおけるターゲット運動とを有する。ターゲットおよび/またはウェハ224は、ビーム走査の方向に直交して一定に動く。高スルーブットは、0.1 μ mフィーチャー・サイズ基本ルールに一致して得られる。この場合、400mmより大きいカラム長、約4~35 μ Aのビーム電流、約75~175 kVのビーム・エネルギー、約3:1~5:1の光学的縮小率におけるターゲットでの0.1~0.5のサブフィールド・サイズ、2ミリラジアンより大きい、好適には3~8ミリラジアンの開口数、および約20~55mmの走査長を用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】リソグラフィー露光を行う電子ビーム投影装置において、

ターゲットの運動の方向に直交して電子ビームを走査する手段と、

電子源イメージでレチクルの一部を露光する手段とを備え、前記レチクルの一部は、2ミリラジアンより大きい開口数で少なくとも約0.1mmの横断寸法を有する前記ターゲットでのイメージに対応している、ことを特徴とする電子ビーム投影装置。

【請求項2】ウェハーでの前記イメージの横断寸法が、約0.1mm～約0.4mmであることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項3】ウェハーでの前記イメージの横断寸法が、約0.25mm～約0.5mmであることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項4】約3ミリラジアン～約8ミリラジアンの範囲にある開口数を有することを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項5】前記電子ビームの長さが少なくとも400mmであることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項6】前記電子ビームの長さが少なくとも400mmであることを特徴とする請求項4記載の電子ビーム投影装置。

【請求項7】約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項8】約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする請求項4記載の電子ビーム投影装置。

【請求項9】約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする請求項6記載の電子ビーム投影装置。

【請求項10】約3:1～約5:1の、前記ターゲットでの前記レチクルのイメージの光学的縮小率を与える手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項11】前記露光手段は、約4～約35マイクロアンペアのビーム電流を与える手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項12】75kV～150kVの加速電圧を与える手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項13】前記ターゲットを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項14】前記レチクルを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項15】前記レチクルを軸の周りに連続的に回転させる手段をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の電子ビーム投影装置。

【請求項16】前記レチクルを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする請求項13記載の電子ビーム投影装置。

10 【請求項17】前記レチクルを軸の周りに連続的に回転させる手段をさらに備えることを特徴とする請求項13記載の電子ビーム投影装置。

【請求項18】リソグラフィー露光を行う電子ビーム投影装置を動作する方法において、

ターゲットの運動の方向に直交して電子ビームを走査するステップと、

電子源イメージでレチクルの一部を露光するステップとを含み、前記レチクルの一部は、2ミリラジアンより大きい開口数で少なくとも約0.1mmの横断寸法を有する前記ターゲットでのイメージに対応している、ことを特徴とする電子ビーム投影装置の動作方法。

【請求項19】約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査するステップをさらに含むことを特徴とする請求項18記載の電子ビーム投影装置の動作方法。

【請求項20】前記露光ステップを、約4～約35マイクロアンペアのビーム電流で行うことを特徴とする請求項18記載の電子ビーム投影装置の動作方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、一般に半導体デバイスおよび集積回路の製造に関し、特に電子ビームによりリソグラフィー・レジスト露光を行うリソグラフィー・プロセスおよびツールに関する。

【0002】

【従来の技術】リソグラフィー・プロセスは、一般に半導体集積回路の製造に要求される。集積回路の製造においては、多くのプロセスが自己整合的に行われる（いくつかのリソグラフィー・プロセスを回避し、およびリソグラフィー的に実現できるよりも小さいサイズで構造を作製するために）プロセスおよびエレメント構成を用いる傾向があるが、エレメントの位置を定める少なくとも1つのリソグラフィー・プロセスが必ず要求される。リソグラフィー・プロセスはそれ自体、少なくとも、レジストを塗布し、レジストを乾燥し、レジストを露光し、レジストを現像し、材料の付着または除去プロセスを実行する多数のステップを必要とし、これらのステップは比較的時間のかかるステップである。従って、リソグラフィー・プロセスは、しばしば製造ライン・スループットにおける制限要因になっている。

【0003】さらに、現在および将来の集積回路の小さいフィーチャー・サイズは、レジストの極めて高解像度の露光が行われることを要求する。現時点で産業上もっぱら使用されているリソグラフィー技術は、レジストを露光する露光媒体として光（放射線）を使用することに基づいている。光学的方法是、次のような点まで進歩してきた。すなわち、解像度が回析（または、より一般的には放射線の干渉効果）により本質的に制限されるが、収差として知られる光学系の不完全性によりはなはだしく制限されない点にまでである。回析は、レジストを露光するために使用される光の波長によって決定され、波長が短い程、一般的に影響は小さい。

【0004】従って、産業上の傾向としては、回路エレメントのより小さい寸法とより近い近接とを可能とする集積回路の製造における進歩を受け入れるために、より短い波長の電磁波を使用する方向にある。産業界での現在の共通認識は、光の使用は、深紫外線（DUV）の範囲にある193nm（ナノメートル）の波長に制限され、130～180nmの最小パターン寸法を可能とする最大解像度を与えると信じられていることである。

【0005】このフィーチャー・サイズの限界を乗り越えようとする主な努力は、極紫外線（EUV）さらにはX線の波長を有する電磁波の拡張範囲を使用する方向に向けられている。しかし、帯電粒子（電子またはイオン）放射の使用は、高解像度リソグラフィーの他の露光媒体を提供する。電子またはイオンのどちらを使用するかは、回析効果ではなく、技術の現状での他の要因によって制限される。このような他の要因は、光学的収差と同等の収差（しばしば幾何学的収差と称される）と、同一帯電粒子間のクーロン相互作用と、粒子が向かうターゲットの材料との相互作用（これは粒子の散乱を生じ、近接効果として知られる露光効果を引き起こす。）ことを含んでいる。これらの効果は、電子またはイオンのいずれのビームにも共通であるが、この発明では主に電子ビームに関心がある。

【0006】電子ビームは、ビームの近くの磁界および電界により容易に制御できることは、周知である。このような制御は、プローブ形成装置として知られる構造において、約30年にわたって産業および研究におけるリソグラフィーに利用されてきた。“プローブ”（probe）という用語は、電子ビームが電子光学のカラムに形成され、数マイクロメートル以下のサイズの微小なスポットをターゲットに形成することを示すのに用いられている。次に、このスポットは、電界および/または磁界により空間および時間的に制御され、所望の回路パターンのような所望パターンを生成する。しかし、数ミリメートル範囲の横断寸法のチップ上に所望のパターンを描画するためには、露光は、幾千または幾万のスポットすなわち“ピクセル（pixel）”（しかし、実際には、ビーム形成装置では、1スポットは2以上、例え

ば、約100個のピクセルを含むことができ、“ピクセル”という用語はより一般的に装置解像度と同義である。）に対して実行される順次プロセスであり、従って、一度のフラッシュでチップ・パターン全体を露光できる光学装置での露光よりも、非常に多くの時間を消費する。ターゲットの各領域の順次露光が行われるときに、ピクセル毎に補正することによって、プローブ形成装置において収差をある程度制御できる。

【0007】製造においては、プロセスにより要求される時間と、そのプロセスが行われる装置のスループットとは、プロセスの効率にとって重要である。従って、電界および磁界による可制御性の利点が、高スループットの欠如に対してうまくバランスしている環境下においては、電子ビームのみが、集積回路リソグラフィーに使用されてきた。電子ビームによるシリコン・ウェハー上のチップへの直接露光が、いくつかの製造業者により数年間、限定的に使用されてきたが、電子ビーム装置は、電磁波の投影を用いるリソグラフィー用のパターンニングされた光学的マスクの作製に主に用いられている。

【0008】プローブ形成装置のスループットへの制限を低減するために、光学的投影装置をモデルとした電子ビーム投影装置が、開発されてきた。この電子ビーム投影装置は、レチクルと称される潜在的に複雑なマスクにより電子ビームを形成し、従ってレチクルの全ピクセルを並行して理想的に投影する。縮小率（demagnification）の使用は、非常に小さいフィーチャー・サイズと微細なピッチとを可能にする。微細ピッチは、レチクルのフィーチャー・サイズよりも小さく、かつスポット露光から得られるものよりも潜在的にも小さい。しかし、比較的小さいレチクル・サイズと比較的低いスループットでは、投影装置のいくつかの実際的な限界が生じてくる。例えば、収差の補正は、プローブ形成装置におけるように、ピクセル毎に行うことはできず、および技術の現状は、80×160mmのレチクルに対応するフィールド（4：1の線形縮小率で、20×40mmのイメージに相当する）を、0.25ミクロン以下の小さいフィーチャー・サイズの基本ルールを満たす十分な忠実度でカバーするレンズをサポートしない。さらに、カソード電子源の電子放出面は、レチクルにイメージされ、およびレチクル全体にわたってを十分に均一な照射を与えるのに要求されるカソードの物理的サイズは、現在では得られていない。

【0009】従って、プフェイファー（Pfeiffer）等の米国特許第5,466,904号明細書には、レチクルのサブセクションにわたって電子ビームを走査して、ビーム電流の要件を低減させ、一方ではレチクルおよびターゲット面の各サブセクションまたはサブフィールドに対するかなりの収差補正を可能にすることが提案されている。なお、上記米国特許明細書の内容は、本願明細書の内容として引用される。プローブ形成装置に

関するスループットのかんりの向上がサポートされている。というのは各露光をステップ・アンド・リピート(S&R)でスポット毎(プローブ形成装置によって形成されるスポットは前記に定義されている)に行う必要がないからであり、およびプローブ形成装置は、1サブフィールド毎に約10⁷個のピクセルを並行して露光し、一方ではサブフィールド毎に収差の補正を行うことが可能であるからである。

【0010】電子ビーム投影装置における他の基本的な機能要素は、プフェイファー等の米国特許第5,633,507号明細書に開示されているような電子ビーム源構造と、ペトリック(Petric)の米国特許第5,635,719号明細書に開示されているような電子ビーム・カラムの軸を含む面内にある曲線軸に、電子ビームを制限できるレンズ配列を含む。なお上記2つの米国特許明細書の内容は、本願明細書の内容として引用される。米国特許出願第08/769084号、第08/769047号、第08/769083号明細書は、また曲線軸装置に関係し、その内容は本願明細書の内容として引用される。ペトリックの米国特許5,635,719号明細書に開示されている曲線軸の技術は、また、照射の均一性を著しく損なうことなしに広い走査範囲を与えるために、軸上位置および軸外位置にあるレチクル・サブフィールドを照射するように作用する電子ビーム・カラムの一部に適用できる。

【0011】さらに、レチクルにおける電子ビームの分散は、プフェイファー等の米国特許5,674,413号明細書(その内容は、本願明細書の内容として引用される)に従って軽減でき、これにより露光に利用できるビーム電流を、従ってツールのスループットをかなり増大させる。さらに、解像度を制限するクーロン相互作用を減少させるために、ビーム・イメージ形成および位置、決め制御電子装置と両立する高加速電圧を用いることが好ましい。約180kVの限界は、レチクルまたはウェハーまたそこに既に形成された構造に対する損傷の可能性により課されるものと考えられる。

【0012】偏向要件を低減させ、ウェハー上のより大きな露光フィールドと複数ウェハーの順次処理とを受け入れるためには、レチクルおよび/またはウェハーの運動が、一般に与えられる。既知の縮小投影装置に一般に要求されるレチクルの高運動速度を減少させるために、ウェハーのステップ運動と組合わせたレチクルの連続的な円運動が、スティッケル(Stickle)等の米国特許第5,434,424号明細書に開示されている。高解像度要件を満たし、従って非露光時間を最小にするために、レチクルまたはウェハーのステージの機械的構造を簡略化して、重量を減少させおよび頑強さを増大させるプレーナ・ステージ構造が、ドーラン(Doran)等の米国特許第5,140,242号明細書に開示されている。レチクルおよびウェハーの加速および減速

ステージと、電子光学カラムとの間の振動的相互作用を低減して、装置の安定性と露光精度とを改善するためには、好適なフレーム構造が、ケンドール(Kendall)の米国特許第5,508,518号明細書に開示されている。これら3つの米国特許の全ては、本願明細書の内容として引用される。

【0013】電子ビーム投影装置のこれら基本的要素の幾つかの組み合わせは、動作条件のかんりの範囲にわたって、0.25ミクロンまたは可能性としてさらに小さいフィーチャー・サイズ基本ルール(例えば、0.1μm)に対して、良好な結果と高いスループットとをもたらす。前記動作条件は、優れたリソグラフィ結果を引き出すために当業者により任意に選択および調整できる。しかし、前記引用された米国特許と米国特許出願の明細書に説明されているこれら基本的要素の特定の形態は、解像度、信頼性または動作速度を改善することに向けられるが、これらの要素が十分に協働して、現在および将来の集積回路設計および基本ルールに適切な、高解像度と、同時に高スループットとを無条件で与えることは、説明されていない。逆に、予測できない臨界性が、より小さいフィーチャー・サイズ基本ルール方式で生じることがわかってきている。特に、電子ビーム投影装置の物理的構造と動作条件とは、レジスト感度のような外部的要因と、内部的要因(幾何学的収差、クーロン相互作用、電子信号対雑音比を含むが、これらに限定されない)とに関係し、電子ビーム・カラム長と、イメージ縮小率、ビーム電流、ビーム加速電圧、ビーム走査範囲、開口数、サブフィールド・サイズ、レチクルおよびウェハーのステージの速度、ビームおよび/またはレチクルおよび/またはターゲット(例えば、ウェハー)の移送機構を制御する制御電子装置の精度および速度との間に重要なトレード・オフを課す。

【0014】これらのトレード・オフの組み合わせは、物理的構造のキーパラメータと、前記基本的要素(および可能性としての他の要素)のそれぞれの動作条件との間の相互作用の組み合わせよりなる非常に複雑な系を反映している。このことは、0.18μm以下の微小寸法(CD)技術の製造基本ルールに適合したリソグラフィに要求されるスループット、フィーチャー解像度、ライン幅、パターン重なり制御とによって性能を与えることに対して、極めて重要になる。言い換えれば、0.25ミクロン基本ルールよりも極めて小さいフィーチャー・サイズ基本ルール方式に対して、前記好適な基本的要素の技術を含む系は、相互作用の系の考察と管理とを要求する。この系は、処理しにくい程大きく複雑で、表面的には数学的解析を受け付けない。各要素の物理的構造および動作条件と、全ての相互作用の計算とに関しての経験的なパラメータの展開は、かなり多数の実験とシミュレーションを要求する。前記パラメータおよび動作モードの全てを含む電子ビーム投影装置の性能の技術的解

析は、この発明より以前にはなされていない。

【0015】例えば、収差（同一荷電子の間のクーロン相互作用による収差のような）、および他の位置的誤りとが全ての実際の帯電粒子系にある程度存在する事実と、一定のフィーチャー・サイズ方式についての受容可能な収差が、フィーチャー・サイズが小さくなると、同一またはさらに小さいフィーチャー・サイズを保持しなければならない事実とを考慮すると、収差を減少させることが知られている、電子ビームの加速電圧の増加によって、収差を小さくさせることが望ましいと思われる。しかし、加速電圧を増大させることは、レジストの感度をかなり減少させる。これに対しては、増大されたビーム電流を用いて、スループットを維持するよう補償することができる。増大されたビーム電流は、電子間のクーロン相互作用と、結果としての収差とを増加させ、比較的小さい利得を与え、一方ではビームを制限する絞りまたは開口での、およびビーム位置決めおよび偏向装置の電力消費要件を増大させ、最終的にはビームの安定性や配置精度に影響を及ぼす。ウェハまたはその一部の加熱は、レジスト化学物質の制御不能な変化および/またはウェハの膨張や歪みを引き起こし、このことは、ビーム配置、レジスト感度などに量的に依存する露光パターンのいわゆる重なり誤りを引き起こす。

【0016】同様に、偏向誤りは、電子ビームの角度偏向により増加する傾向にあり、およびより大きな露光フィールドをカバーする（より大きな露光フィールドを、現在の技術のレベル内で得られるレンズでカバーできる程度に）する傾向にあり、角度偏向を、電子ビームのカラム長を大きくすることで減少し、より小さな偏向角度に偏向の変位を維持することができる。しかしながら、電子ビームのカラム長の増大は、幾何学的収差とクーロン相互作用による収差とを大きくする。電子ビーム・エネルギーおよび加速電圧のスケーリングによる補償は、ビーム電流がさらに増加しなければ、スループットを低下させる。このことは、前述したように解像度および重なり精度を低下させる。収差の量的変化はまた、倍率、レンズ構造などにより影響を受け、さらに、フィールド・サイズとレンズおよび補正器の精度との間のトレード・オフと、レチクルとウェハに対する位置決め装置の精度（それらの構造の速度・精度の積により与えられる限界を示す）とにより影響を受ける。

【0017】従って、以下のことを理解することができる。すなわち、前記米国特許および米国特許出願の明細書に説明されている好適な既知の技術を、0.25ミクロンより小さい方式のリソグラフィ・プロセスと組み合わせる必要があるとされる物理的構造および動作パラメータは、全く簡単ではなく、まして最適化に通じるものではなく、および技術のレベルは、装置の受容できるスループットの維持と一致するより小さいフィーチャー・サイズ方式で、基本的な装置要素の構造の特

定の組み合わせの成功を保証しない、ましてや光学的露光装置に匹敵するスループットを保証しない。

【0018】バーガー（Berger）の米国特許第5,382,498号明細書で開示されているこの問題の複雑さに対する手法は、考えられる要素、条件および相互作用の数を減らし、一方では電子ビーム投影リソグラフィをより小さい方式に展開させ、スループットの受容可能なレベルを維持することである。バーガーの米国特許は前述したよりもかなり大きいフィーチャー・サイズ（0.5ミクロン）方式に関係しており、基板での10mA/cm²の比較的低いビーム電流密度では、クーロン相互作用の故に、電子ビーム・カラムには約0.75mの有効制限が課されることの認識から始めることは、クーロン相互作用の効果と一定のレジスト感度に対する熱効果との間のビーム・エネルギーと、レチクルおよびウェハの熱放散と、熱膨張率および弾性率とを、厳密に最適化する。ドエル時間の調整と繰り返し走査の使用とは、バーガーの特許において利用され、重なり誤りを許容限界内に保つが、理解できるように、スループットは低下する。ドエル時間はまた、レチクルとウェハの運動に整合して、ウェハでのイメージのぼけを阻止しなければならない。

【0019】バーガーの特許は、0.5ミクロン・フィーチャー・サイズ方式において受容可能なスループットで受容可能な結果を与えるのに有効であるが、現在要求されるかなり小さいフィーチャー・サイズ方式において必ず有効な高解像度と一致する高いスループットをもたらす方法を提供しない。バーガーの特許は、組み合わせにかかるリソグラフィ・ツールの基本的要素に対する適切な動作パラメータ範囲についてのガイダンスを与えるものではなく、またこのような方式におけるリソグラフィ・プロセスの成功を保証する方法に通じるものではなく、ましてやこれらの方式において要求される最大のスループットおよび製造歩留まりについての最適化に通じるものではない。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】この発明の目的は、光学的露光装置に匹敵するスループットで0.25ミクロンよりも極めて小さいフィーチャー・サイズ方式に対して十分な解像度を有する電子ビーム露光ツールを提供するにある。

【0021】この発明の他の目的は、電子ビーム・リソグラフィ露光装置の基本的要素に対する物理的構造および動作パラメータの範囲を組み合わせで与え、0.25ミクロン方式よりも極めて小さいフィーチャー・サイズにおいて高解像度と高いスループットを信頼性良く提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】この発明のこれらのまた他の目的を達成するために、リソグラフィ露光を行う

電子ビーム投影装置と方法が提供される。これらの装置および方法は、ターゲットの運動の方向に直交して電子ビームを走査する偏向装置と、2ミリラジアンより大きい開口数で少なくとも約0.1mmの横断寸法を有するターゲットでのイメージに対応するレチクルの一部を電子源イメージで露光する装置とを備えている。400mmより大きいカラム長、約4~35 μ Aのビーム電流、約75~175kVのビーム・エネルギー、約3:1~5:1の光学的縮小率でターゲットでの約0.1~0.5mmのサブフィールド・サイズ、好適には3~8ミリラジアンの開口数、および約20mm~55mmの走査長が好ましい。

【0023】

【発明の実施の形態】図1には、この発明が適用できる電子ビーム投影装置が、断面図で概略的に示されている。この電子ビーム投影装置は、前記引用された米国特許第5,545,902号明細書で説明されているものに類似しており、この発明を適用できる。図面は、この発明の理解を容易にさせるためにかなり簡略化され単純化されている。この発明は、他の電子ビーム投影装置にも適用可能である。他の電子ビーム投影装置は、例えば、前記引用された米国特許第5,635,719号明細書に開示されているものがそうであり、この発明の以下の説明から当業者により理解されるように、前記引用された米国特許および米国特許出願に記載されている特定の形態を有利に取り入れている基本的要素を含んでいる。また、図1に示された基本的要素の基礎的組み合わせは、要素自体として知られているが、この発明は、これら基本的要素の特定の形態の組み合わせの特別な構造と、相互関係にある動作パラメータとに関係していることを理解すべきである。従って、かなり概略的でスケール通りでない図1は、この発明については使えるが、従来の技術に対しては使えない。

【0024】図1に示されているように、電子源10は、発散ビームを照射開口20に向けて放出し、加速電圧源12と、電流コントローラ14とにより決定されるエネルギーを有する電子ビームを発生する。開口20は、好ましくは、一辺が約1.0mmの非臨界的公称寸法を有する正方形をしている。開口寸法は、開口の電子密度の所望の均一度（一般に2%以下の変動）を与えるために好適に選択され、一方では電子源10により放出される発散ビームは、装置軸16の周りに対称で、ほぼガウス分布した電子密度分布を有している。電子ビームは、次にレンズ8でフォーカスされ、開口20のイメージがレチクルに生成される。レチクルにおける開口20のイメージのサイズは、レンズ8の位置と励起を調整することによって、サブフィールドのサイズに一致するまたはサイズをわずかに越えるよう選ばれる。レンズは、複数のレンズのグループにより置き換えることができる。

【0025】偏向器30は、偏向コイル装置32と34を好適に備えているが、技術上良く知られているように、静電偏向板またはその組み合わせを用いることもできる。いずれにしても、偏向器30は、離間された一对の装置で構成される。一对の装置は、装置軸16に平行な飛しょう経路104に偏向ビームを戻すために、偏向ドライバ18によって逆駆動される（しかし、それらの別々の構造に従って駆動電流または電圧で可能なかぎりスケールされる）。従って、飛しょう経路104は、レチクル204の選択されたサブフィールドと交差する。経路104は、便宜上レチクル軸と称されるが、この用語は、選択されたレチクル・サブフィールドを通るビームの飛しょう経路に適用されることを理解すべきである。

【0026】レチクル204の面にビームをフォーカスするレンズ40は、好ましくは軸可変レンズ（VAL）であり、最も好ましくは軸可変浸漬レンズ（VAIL）である。浸漬レンズでは、物体/レチクルが、レンズを定めるフォーカシング・フィールドにおいて好適に“浸漬”される。しかしながら、ビーム・カラムの形状と、エレメントの相対的位置決めとは、特定の応用例に適合でき、レチクルはレンズ・フィールドに浸漬される必要はないことを理解すべきである。

【0027】VAILは、好ましくは上部と下部の磁極42,44と、軸移動ヨーク43,45とを有する。VALとVAILタイプのレンズは、技術上周知であり、前述した選択的偏向に従ってレチクル軸104に一致するよう制御可能にレンズの軸を移動させることができる。軸移動ヨーク43,45は、偏向ドライバ18により駆動されるものとして概略的に示されているが、これらは実際には同一の制御信号に応答して個別に駆動される。（図面を明瞭にするために図示が省略されている他の偏向、フォーカシング、補正要素を駆動する以下に説明する装置の要素の他の接続は、X-Y偏向ドライバ18に部分的に含まれるものと見なすことができる補正データ記憶装置110およびコントローラ100によって概略的に示されている。これらの接続と駆動要件とは、前述の説明から当業者には十分に理解されるであろう。）レンズ軸の移動は、この装置に要求される高解像度の性能に一致するように軸外収差をかなり排除する。

【0028】レチクル204上での電子ビーム104のフォーカシングは、開口20のイメージでレチクルを照射する。この開口のサイズは、レチクルのサブフィールドに一致させる（またはわずかに大きくする）ことができる。レチクルのサブフィールドは、縮小が用いられていると仮定すると、ウェハーでのイメージのサイズよりも一般的に大きい。ビームは、レチクルの部分を通過するので（残りのビームは吸収されるか、または好適には散乱される）、ビームはレチクルのバターニングにより決定されるイメージに成形される。ビームは、レンズ4

0によりコリメートされ、このレンズはまた（レンズ50で）フォーカシングに影響を与える。

【0029】他の偏向器66は、固定開口70に戻るようには、電子密度分布プロファイルの端部にある電子（部分的に、レチクルでの分散による）を再び捕捉して、コントラストを強め、電子源10/開口20のイメージのサイズを制限する。ビーム電流はまた、アライメントおよび他の動的補正のために、開口で検出することができる。単一開口の使用は、必要なら、収差の動的補正のために、80で集散的に示される要素の固定および対称配置を可能にする利点を与える。前記収差は、例えば、装置軸および開口70との共面性に対する、フィールド湾曲、非点収差、歪みである。偏向器68は、ビームをビーム・カラム軸に平行な飛しょう経路106に戻す。偏向器66, 68は、60で集散的に示されている。

【0030】磁極52, 56と、軸移動要素またはヨーク53とを含む軸可変フォーカシング・レンズ50は、レンズ40下部と共に、この装置の全縮小率を与える。従って、当業者に理解されるように、レチクル204は、レンズ40内に対称的に配置される必要がなく、例えばレンズ40の上流に配置することができる。いずれにしても、レンズ40と50は、二重レンズとして機能する。レチクル204によりパターンニングされた電子ビームは、ターゲット・ウェハー224上に投影される。ターゲット・ウェハーは、この装置のフィールド・カバレジ要件を軽減する位置決め並進テーブル222により搬送される。

【0031】前述した一般のタイプの装置においては、4つのクラスの性能制限要因がある。これら要因は、電子ビーム投影装置（EBPS）が動作して、受容可能なスループットで、0.5/0.25ミクロン・フィーチャー・サイズ方式において適切な解像度を与える構造および動作パラメータの範囲を狭める。最初の2つのクラスの性能制限要因は、帯電粒子系に固有であり、ビームの帯電粒子間、およびビームとツール、レチクル、ウェハーの要素を構成する固体物質との間の静電すなわちクーロン相互作用と、用いられるレンズ、偏向器、多極補正器によって、ビーム・カラムを通る理想的な飛しょう経路に、同時に、ビーム内に全ての帯電粒子を保持する不完全な能力の故に生じる幾何学的収差とである。レンズ、偏光器、多極補正器のいずれも、実際には構成が理想的ではなく、すなわち理論的な理想状態（例えば、収差がない）または完全な（例えば、製造欠陥および相当する歪みのない）フィールドを生成しない。

【0032】性能制限要因の次の2つのクラスは、レチクルおよびターゲットの不完全な機械的位置決めにより

それぞれ生じる。これらレチクルとターゲットの各々は、それらの構造の速度・精度の積（電気回路の利得・帯域幅の積に相当する）を有し、レチクルとターゲットの両方は、互いに同期した運動を有している。

【0033】発明者は、次のことを認識した。すなわち、全体の装置とツールの最終的なスループット・解像度の積は、これら4つのクラスの性能制限要因の速度および位置決め/収差の不正確さの総和を与え、前記キーパラメータ（電子ビーム・カラム長と縮小率、ビーム加速電圧、ビーム電流、ビーム走査範囲、開口数、サブフィールド・サイズ、レチクルとウェハーのステージ速度、電子回路の精度および速度）の全てに関してトレード・オフを各々解析してきた。というのは、これらキーパラメータは各クラスの性能制限要因に関係し、光学的投影装置に匹敵するEBPSツールのスループットに一致する、0.18 μ m以上のフィーチャー・サイズ方式に十分な解像度を得るための基本的条件として後述の動作モードとパラメータの範囲とを導いてきたからである。さらに以下の説明では、動作キーパラメータの各々に対する好適な値の範囲は、主として、そのパラメータの効果の関数であり、および前述した特定クラスの性能制限要素における多数の主要な他のパラメータであることがわかるであろう。

【0034】まず、この発明の装置の動作モードおよび原理を考察すると、この装置は、ターゲットおよび/またはレチクルの位置並進に関する2つの二重動作モードのうちの1つで動作するのが好適である。特に、ビームは、実質的に一方向（例えば、X方向）にレチクルにわたって移動し、一方ではターゲットおよび/またはレチクルはX方向に直交する方向（例えば、X方向におけるビーム偏向すなわち走査範囲によって分割されたY方向におけるサブフィールド間の中心間距離によって与えられるX方向に対しある角度をなすY方向）に、および反対方向に移動するのが好適である。このような場合、ターゲットの運動は、おおよそ、光学的縮小率、またはレチクルでのビーム走査範囲と装置のウェハーでのビーム走査範囲との間の比だけ、レチクルの運動よりも低速でなければならない。本発明の動作条件は、また、ターゲットのみの線形運動に一致し、一方では前記引用された米国特許第434,424号明細書で説明されているように、他の好適な二重走査モードを構成するように、レチクルは固定軸の周りを回転する。いずれの場合においても、“フライバック”を実現するのに要求される時間と速度・精度積とを避けるためには、ビーム走査およびターゲット運動（およびレチクル運動、線形ならば）の両方について、蛇行またはベデステル状の走査パターンが好適である。

【0035】レチクルおよびターゲットの速度は、いずれの場合においても、ビーム偏向速度に比べて低速である。というのは、ステージの運動に直交するフィールド

の偏向範囲にわたるビームの各走査に対して、ステージは1つのサブフィールド中心間距離(レチクル上のサブフィールド間にギャップを設けることができることを除いて、一般にサブフィールドの幅にほぼ等しい)だけ前進するからである。レチクルおよび/またはウェハー運動と共に、ビーム運動は、“ストライプ(strip)”を構成する。ストライプの幅は、ビーム走査範囲または(一次元の)偏向フィールドにより与えられ、ストライプの長さは、ストライプに直交するステージ運動に相当するチップ寸法により与えられる。

【0036】二次元ビーム偏向フィールドが共に編成されてチップをカバーするか、またはチップが大きければ、ウェハーをチップずつカバーする、いくつかの従来の既知のプロープ形成装置に用いられる動作モードのステップ・アンド・リピート(S&R)モードは、ステップ間のステージに整定時間を与えるのに必要なフィールド間の遅延の故に、高いスループットの応用例には適切でないことを容易に理解することができる。これらの遅延は、間隔に加えて、前述したように、例えばペDESTAL・ラスタ走査パターンに続くステージの逆転すなわち反転のためのストライプ境界で必要とされる。

【0037】前記走査の動作原理を用いると、1時間あたり約30個の(200mm)ウェハーの例示的なスループットが、ウェハーおよびレチクルの連続運動を含む二重走査モードによって実現されるターゲットおよび/またはレチクル並進装置の速度・精度積への要求の低減の点から見て、実現可能である。しかしながら、このレベルのスループットは、ウェハーのバッチ処理を必要とする。というのは、真空環境の中および外へのウェハーずつのローディングおよびアンローディング動作に必要な時間は、このような高スループットレベルと両立しない。

【0038】次に、この発明の装置の動作条件を、図2と図3に基づいて、順に説明する。これら図では、本発明により受容できるとみなされるパラメータ範囲が、横軸上に正規化され、縦軸上には、解像度の相対的傾向(イメージぼけB、イメージ歪みD、スループットとして、それぞれ表現されている)が、単位なしで(および任意に配置されて)正規化されている。以下に好適となるように示され、または許容できると見なされる範囲および限界は、越えると解像度またはスループットまたはこれらがかなり低下する値と見なされることを理解すべきである。すなわち、高解像度と高スループットとの積における成功の可能性は、前述した限界に接近する、または限界を超えると、著しく減少する。もちろん、1つ以上のパラメータが、好適な限界外で選択されることについての補償は可能であり、他のパラメータの調整によって行われ、したがって前述の限界は、以下の説明を通じておおよそであると見なされなければならない。逆に、前述の好適な限界に近いいくつかのパラメータの使

用は、前述の他の好適な限界をより臨界的にする。前述のおおよその好適な範囲は、より低い解像度および/またはスループットが受容可能であるならば、もちろん大きくなるであろう。以下に詳細に説明するように、この発明のEBPSの構造の基本的前提は、パラメータが実用的限界内で選択されるが、少なくともいくつかのパラメータの反比例または逆の傾向が、最適な条件を示し、かつ近似することである。

【0039】考察すべきこのようなパラメータの最初のものに関して、ビーム加速電圧は、しばしばビーム・エネルギーと称され、いくつかの要因が同時に考慮されなければならない。実験的および理論的証明は、以下のように説明することができる装置スループットについては、高電圧が好ましいことを示している。

【0040】初めに考察すべきことは、レジストにパターン・フィーチャーを適切にエッチングすることが要求されるドーズ量によるレジスト感度のビーム電圧への依存性である。レジスト感度は、ビーム・エネルギーにほぼ比例して減少することが知られている。言い換えれば、要求されるドーズ量は、加速電圧にほぼ比例して増加する。しかし、最適なトレード・オフに達するためには、イメージぼけの加速電圧への依存性が考慮されなければならない。イメージぼけは、クーロン相互作用によるものであり、図2の曲線21で示されるように約1.6の累乗で変化する。しかし、クーロン相互作用によるぼけは、図2の曲線22により示されるように、約0.8の累乗でビーム電流により増大するので、全体の解像度は、加速電圧の2乗で改善される。従ってスループットは、図3の曲線28で示されるように、解像度を維持しながら加速電圧におおよそ比例して増大する。曲線28は、次式で表される。

$$【0041】 \text{ドーズ量} = I \cdot T / F \sim V$$

ここで、I=ビーム電流、T=露光時間、F=ウェハー面積、V=電圧である。この考察についてオーバーヘッドを無視すると、スループットTPは、1/Tに比例し、従って、 $TP \sim I/V$ である。同様に、イメージぼけは、 $B \sim I^{0.8} / V^{1.6}$ であり、従って、一定のぼけは、 $TP \sim V$ の $I \sim V^2$ である。

【0042】75kVのビーム加速電圧の下限は、クーロン相互作用と、少ないがかなり重要な近接効果との点から、好適である。クーロン相互作用は、21で示されるように、電圧に対し1.6の累乗で変化する(例えば、電圧が2倍になると、相互作用によるぼけを約1/3に減少させる)。クーロン相互作用によるぼけは、ライン幅またはパターン忠実度の制御に影響を与える。近接効果は、ウェハー基板からパターン領域(露光は望まれない)への電子の後方散乱による、下側からのレジストの不所望な露光である。電子が表面に達する点からの、ウェハー内の深さは、電圧と共に増大し、従って、露光されるビームの衝撃位置の周りの横方向範囲を拡大

する。高電圧では、後方散乱電子がさらに拡がり、後方散乱電流密度が減少し、近接効果は、より多くの一般的背景露光を、従って局所的なライン幅変化よりもむしろ、わずかなコントラスト低減を生じさせる。このことは、特により小さいパターン寸法では、最も好ましくない。近接効果を補正する方法があるが、おおよそであり、電圧が低くなればなるほど、不正確に補正がなされる。従って、75 kVよりかなり小さい加速電圧は、許容できるとは見なされない。

【0043】同様に、175 kVの上限が、許容し得る10 基板損傷の点からビーム加速電圧に好適である。基板損傷の可能性は、この限界を越えとかなり増大する。というのは、シリコンに対する原子のノックオンエネルギーは約180 kVであり、このエネルギーでは、結晶の損傷が起き、このような損傷は（おそらく）アニール除去することができないからである。さらに、基本的な問題ではないが、技術的にチャレンジされており、エレクトロニクス利得・帯域幅の積（GBP）は、次のことを意味している。すなわち、ビーム加速電圧が大きくなればなるほど、第1に、偏向器ドライバより要求され、第2に、レンズと、アライメント要素と、動的補正要素とのドライバによって要求される出力振幅（利得）が大きくなり、およびビーム制御電子装置の利用できる帯域幅が低くなる。従って、175 kVは、ビーム・エネルギーについての実用的な上限と見なされる。

【0044】現在、当業者には、次のことが知られている。すなわち、電流密度よりもむしろビーム電流が（引用されたバーガーの米国特許第5,382,498号明細書に示されているように、スループットを決定する主な要因である。これは、電子的遅延および機械的遅延よりなるいわゆるオーバーヘッド時間（例えば、連続するターゲットおよび/またはレチクルの運動を与えることによって本発明に従って小さくされた整定時間と、ペDESTAL・ラスターのストライプ端での反転の加速および減速時間と、電子回路のサブフィールド対サブフィールド・ステップ整定時間と、ロード/アンロード時間と、チップ対チップ、ストリップ対ストリップの全体的アライメント）に対して、支配的であるとした場合である。ビーム電流の好適な範囲は、図3の曲線f(I)により示されるように、10 μ Aと30 μ Aとの間にあると考えられる。下限は、積極的な条件とより現実的な条件との間の値として好適である。1 μ C/cm²のレジスト感度は、100 kVでは今のところ仮説ではあるが、パターンの忠実度に影響を与えるショットノイズによる基本的限界であると思われる。1 μ C/cm²のレジスト感度において、2~3 μ Aの電流が他の装置および動作パラメータに関する積極的な条件下で要求され、50%パターン密度（ネガティブ・レジストによる相補パターンを使用するものと仮定すると最大である）を有するサイド上の250 μ mのサブフィールドで、前述したよう

に、30個の（200 mm直径）ウェハー/時の例示的スループットを実現する。さらに現実的な条件（例えば、5 μ C/cm²のレジスト感度とあまり積極的でない動作条件）においては、要求される電流は、30個のウェハー/時間に対し12 μ Aにまで増加する。

【0045】30 μ Aの上限は、クーロン相互作用、投下費用への減少したリターン（スループットに関し）、電子的および機械的整定時間、レジスト加熱、全電力消費の点から好適である。特に、クーロン相互作用により生じるばけは、前述しおよび図2のゆるやかに下降する曲線22により示されるように、電流に比例して幾分弱くなる。0.1 μ mすなわち100 nmの小さいパターン・フィーチャーを描画するのに要求される解像度の損失は、10%内に保たねばならない。この要件は、基本ルールの一部である。相互作用効果のコンピュータ・シミュレーション用の現在得られるプログラムは、適用される理論に基づいて、70~140 nmの30 μ Aでのエッジの鋭さ（および他の最適化された動作条件）を予測する。従って、低い値に対してのみ、100 nmのフィーチャーを描画することがかろうじて可能である。さらに、クーロン相互作用はまた、電流が増大するにつれて、著るしいサブフィールドの歪みの増大を引き起こす。

【0046】投下費用へのリターンに関しては、装置と動作パラメータに対するリブナブルな仮定において、100%の電流の増加（例えば、15から30 μ A）は、約20%のスループットの増加（例えば、33~39個のウェハー/時間）を生じる。これは、図3の右側におけるf(I)の比較的水平的な曲線部分からわかる。その理由は、オーバーヘッド時間が、露光時間が減少するよりも早く増加するためであり、これは主に、ビームに追従することが要求される高い（レチクル）ステージ速度での延ばされたストライプ反転時間のためである。より高いステージ速度はまた、位置決め精度能力、およびウェハー・ステージとの同期についての要求を増大させる。このことは、悪影響の重なりを与えるかもしれないが、電流についてのこの限界は、回転レチクルの使用に対して、かなり引き上げられることに留意すべきである。同様に、30 μ C/cm²のレジスト感度では、露光時間は整定時間にほぼ等しい。従って、露光時間をより減少させるために、ビーム電流をさらに増加させることは、非論理的である。この比は、より高いレジスト感度（より低いドーズ量）では、さらに悪くなる。

【0047】さらに、100 kVおよび30 μ Aでは、基板へ入力される電力は、3ワットである。このことは、数個のチップの露光後のレジスト温度のかなりの増大と、ライン幅制御の損失を生じる相応の変化とにつながる。さらに、レチクル上において、開口絞りにより吸収された電力は、数ワットよりも高い大きさのオーダーである。このことは、厳しい技術的問題、およびビーム

安定性の潜在的損失を与え、最終的にはライン幅制御と重なり精度の損失を生じる。

【0048】走査範囲／フィールドサイズの適切な範囲を決定する主な要因は、図3の $f(F)$ 30で示されるスループットの損失(下限を課す)と、図2の23と24で示される幾何学的収差(上限を課す)とであることがわかった。前述した例示的なレベルにスループットを維持するためには、走査長とステージ速度との積は、一定の大きさをなければならない。このことは、両方の量が互いに反比例することを意味している。この反比例は、また、次のことを示している。すなわち、走査範囲の下限は、技術の現状では、今のところ20mmをわずかに越えたところにあり、レチクル並進ステージ性能により主に定められる。

【0049】さらに、4:1の縮小率では、30個のウェハー／時間のスループットは、装置と動作パラメータに対してリーズナブルな仮定の下で、20mmよりも小さな走査範囲では達成できない。1チップあたりの(より小さい)ストライプの数の増大により、ステージの反転の数は走査範囲が減少するにつれて増大し、より高いステージ速度に、オーバーヘッドの増大を補償させる。これは、ステージを減速および加速したりするのに必要な個々の反転時間を増大させる。このことは、オーバーヘッドが走査範囲に反比例するよりも速く変化することを意味している。

【0050】走査範囲の上限に関しては、幾何学的収差(図2の24)は、1:4の電力による軸外の偏向で増大する。特に、サブフィールドの歪みは、軸外距離と共に急速に増大する。原則的には、レチクル・パターンのブレ歪みによる補償が可能であるが、製造ラインにおけるツールからツールへの歪みの大きさの潜在的な変化の故に、ブレ歪みによる補償を行うことは、あまり望まれない。従って、レチクルにおける50~60mmの走査範囲の上限は、幾何学的収差を含むには好適である。さらに、好適な上限より下の走査範囲のさらなる制限は、必要である。というのは、前述したように、4倍の他の歪みを発生しない完全な偏向器の製造が、可能でないからである。

【0051】サブフィールドのサイズ(一定の時間にイメージされるチップ・パターン部分として定義される)に関しては、より大きなサブフィールドが好ましい。というのは、一定の動作条件で、および一定のスループットについては、電流を減少できるので、クーロン相互作用がより低くなるからである。一定電流においても、クーロン相互作用は、サブフィールド・サイズの平方根の逆数でおおよそ変化する。しかし、幾何学的収差は、サブフィールド・サイズと共に増大する。これらの傾向は、図2に曲線25で示されている。特に、歪みは、サブフィールド・サイズが走査フィールド・サイズと共に増大するにつれて、サブフィールド・サイズと共に急速

に増大し、サブフィールドの編成における誤りにつながる。レチクルのブレ歪みによる補償は、理論的に可能であるが、望ましいものとは考えられない。というのは、避けることのできない残留誤りは、より重要であり、走査範囲が増大するにつれて、偏向歪みに対してよりもサブフィールド・サイズが増大するので、ツール対ツールの変化に応答するからである。従って、サブフィールド・サイズの好適な上限は、約400 μ mで、幾何学的収差やサブフィールド歪みを含む。

【0052】サブフィールド・サイズ範囲の下限はまた、走査長もしくは範囲により影響を受けて、図3の $f(SF)$ 31により示されるように、スループットを保持する。というのは、チップ内のサブフィールドの数は、1チップあたりの要求される露光の数、および1露光あたりの対応するオーバーヘッド時間、従ってツールのスループットの決定要因であるからである。さらに、スループットの損失を回避するのに十分な一定電流に対しては、前述したように、サブフィールド・サイズの減少は、増大したクーロン相互作用により、解像度の損失を増大させる(図2で右から左に移行する曲線25により示されるように)。従って、サブフィールド・サイズの好適な下限は、約100 μ mすなわち0.1mmであると考えられる。さらに、サブフィールドが減少するにつれて、クーロン相互作用によるぼけは、幾何学的収差が減少するよりも速く増大し、および0.15 μ mより小さいフィーチャーのリソグラフィーに対する適切な解像度は、サブフィールド・サイズが約100 μ mと400~500 μ mとの間に維持されないならば、失われる。従って、このフィーチャー・サイズ方式における一定の組の性能要件に対して、最適なサブフィールド・サイズは、これらの限界内で設定されねばならない。

【0053】開口数は、ウェハーにおけるビーム収束セミアングル(semi-angle)として定義され、開口数の適切な値は、クーロン相互作用および幾何学的収差の逆依存性により原則的に決定される。一定のビーム電流に対して、イメージぼけを生じる幾何学的収差は、開口数におおよそ比例し、一方ではクーロン相互作用は、2/3の累乗で開口数におおよそ反比例する。

(反対に、通常2ミリラジアンより小さい低開口数は、数 μ Aより小さい電流で幾何学的収差を小さくするのに好適であると考えられてきた。前記電流は、プローブ形成装置または約50 μ Aより小さいサブフィールドの投影に適しているが、高いスループットの電子ビーム投影に必要なサイズの領域の露光には不適切である。)従って、図2の曲線26により示された最小値からわかるように、開口数が小さくなると、クーロン相互作用によるぼけは増大し、幾何学的収差は小さくなり、および開口数が2より大きく、かつ狭い範囲内に保たなければ、解像度の許容できない損失が生じる。さらに、増大した開口数(NA)は、焦点深度(DOF)を小さくする。

DOFは、次式でほぼ与えられる。

$$【0054】 E' = E_0' + (2 \times NA \times DOF)^2$$

ここで E_0' は、最良の焦点におけるフィーチャーのエッジ幅（またはぼけ）である。例えば、 $0.1 \mu m$ のエッジ幅の受容可能な20%増大、および8ミリラジアンの開口数に対して、焦点深度は、たった $4 \mu m$ であり、これは特定の環境下では適切でない。

【0055】これらの収差の平衡をとると、最適なものが、3~8ミリラジアンの開口数の適切な範囲内で見いだされる。これは、前記引用された米国特許第5, 633, 507号明細書に開示されているように、低い輝度と放射度（ビームの直径と、装置を通じて保存されるビーム内の点における収束/分散角との積として定義される）の電子源でのみ実現できる。

【0056】基本的に重要な要因は、レチクルとウェハーとの間の最も細いビーム断面の幅である。最も細いビーム断面は、電子源、または装置のレンズ間の装置の入射瞳（例えば、開口70）のイメージにおいて生じ、通常、クロス・オーバーと称せられる。このクロス・オーバーにおけるビームのより大きな断面は、一定の装置長における電子源からのより大きな放射度を要求し、クーロン相互作用を減少させる。

【0057】この点に関しては、輝度および放射度の両方は、これらの値が、ビーム経路に沿う全ての位置で同一であるので、いわゆる保存の量であるということを理解すべきである。しかし、厳密に言えば、この値は、収差と、ビームの一部をカットオフまたは遮断する、例えば開口のような障害物が装置になければ、正確である。収差やビームに対する障害物において、（簡単のために、ターゲット面を基準としてとり、いくつかの場合には定数 Π^2 を省略する）次の関係式が存在する。

$$【0058】 B = I / E^2$$

$$E = F^{1/2} \times NA$$

$$J = 1 / F = 1 / E^2 \times NA^2 = b \times NA^2$$

ここに、 B =輝度、 E =放射度、 I =電流、 J =電流密度、 NA =開口数、 F =ターゲットでのビーム断面積またはサブフィールド領域である。従って、一定の輝度、サブフィールド・サイズ、開口数に対して、電流密度は増大する放射度に伴い減少する。

【0059】光学的縮小はまた、縮小率と称せられ、4:1の（線形の）縮小率を中心とした狭い範囲に限定される。下限は、約3:1であり、これは高解像度でレチクルを形成することの難しさにより原則的に定められる。幾何学的収差とクーロン相互作用との両方は、縮小比（すなわち、装置のカラム長のほとんどにわたって電子ビームの低い電子密度に対応する、より大きな光学的縮小率）にほぼ比例して減少する。

【0060】約5:1の上限は、レチクルの作製に利用できるウェハーのサイズに対する実際的なレチクル・サイズにより主に与えられる。前述した走査範囲の限界は

また、スルーブットに一致させることのできるサブフィールド露光の数を制限する。というのは、レチクルにわたるビーム偏向は、縮小率とレチクル・サイズに比例して増加しなければならず、一定のサブフィールドとレチクル・サイズで一定のチップ領域をカバーするために光学的縮小に実用的な限界を課す。

【0061】クーロン相互作用は、全体のビーム・カラム長にわたって生じ、図2の曲線27で示されているように、1.3の累乗で比例して増大する。幾何学的収差はまた、偏向収差が減少するとしても、1000mmより大きいカラム長でかなり増大する。というのは、幾何学的収差は、軸上収差により過補償されるからである。従って、レチクルからウェハーまでの距離は、可能な限り短く保たれる。レンズは、前記要求される走査長/範囲の限界を受け入れる比較的大きい磁極寸法を有さなければならないので、レンズの相互作用は避けることができない。レンズ・フィールドの重なりは、装置の全体長にわたって、ビーム経路を湾曲させる。結果として、当業者は、装置の長さを短くすることによって、幾何学的収差の増大を期待することとなる。

【0062】前記引用した米国特許第5, 635, 719号明細書は、これらの不利な結果を回避できる技術を開示している。しかし、実際的な最小の長さは、レンズと、偏向器、補正器などの他の電子光学的要素とに必要とされる空間により確立される。従って、前述された少なくとも例示的なスルーブットを実現するのに適切なビーム走査範囲を与え、前記引用した米国特許および米国特許出願に開示されている曲線軸の使用によってのみ達成できる装置の最小の実際的な長さは、約500mmであると評価されている。前述したことから、この発明によるEBPS動作は、 $0.18 \mu m$ 以下のフィーチャー・サイズ方式における光学的投影リソグラフィに匹敵し得るスルーブットを有する電子ビーム投影リソグラフィ露光ツールを提供する。特に、この発明によれば、サブフィールド・サイズと光学的縮小率は、比較的小さい範囲に保たれねばならず、一方ではかなり大きな範囲を、ビーム電圧や電流、走査範囲、開口数に対して用いることができる。適切なビーム電流および電圧範囲は、原則的に重なり誤りが重要な要因でないところに存在する。走査範囲は、実際的な限界内に保つことができ、一方ではウェハーに対する性能要件、および可能な限り、ビーム走査とウェハー/レチクル並進方向の直交方向によるレチクル並進装置性能を小さくし、レチクル並進装置の連続動作を提供する。

【0063】この発明を1つの好適な実施例により説明したが、この発明は請求項の趣旨と範囲内で変更できることを、当業者は理解するであろう。

【0064】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

(1) リソグラフィ露光を行う電子ビーム投影装置に

10

20

30

40

50

において、ターゲットの運動の方向に直交して電子ビームを走査する手段と、電子源イメージでレチクルの一部を露光する手段とを備え、前記レチクルの一部は、2ミリラジアンより大きい開口数で少なくとも約0.1mmの横断寸法を有する前記ターゲットでのイメージに対応している、ことを特徴とする電子ビーム投影装置。

(2) ウェハーでの前記イメージの横断寸法が、約0.1mm〜約0.4mmであることを特徴とする上記

(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(3) ウェハーでの前記イメージの横断寸法が、約0.25mm〜約0.5mmであることを特徴とする上記

(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(4) 約3ミリラジアン〜約8ミリラジアンの範囲にある開口数を有することを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(5) 前記電子ビームの長さが少なくとも400mmであることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(6) 前記電子ビームの長さが少なくとも400mmであることを特徴とする上記(4)に記載の電子ビーム投影装置。

(7) 約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(8) 約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする上記(4)に記載の電子ビーム投影装置。

(9) 約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査する手段をさらに備えることを特徴とする上記(6)に記載の電子ビーム投影装置。

(10) 約3:1〜約5:1の、前記ターゲットでの前記レチクルのイメージの光学的縮小率を与える手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(11) 前記露光手段は、約4〜約35マイクロアンペアのビーム電流を与える手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(12) 5kV〜150kVの加速電圧を与える手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(13) 前記ターゲットを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(14) 前記レチクルを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(15) 前記レチクルを軸の周りに連続的に回転させる

手段をさらに備えることを特徴とする上記(1)に記載の電子ビーム投影装置。

(16) 前記レチクルを連続的に動かす手段をさらに備えることを特徴とする上記(13)に記載の電子ビーム投影装置。

(17) 前記レチクルを軸の周りに連続的に回転させる手段をさらに備えることを特徴とする上記(13)に記載の電子ビーム投影装置。

(18) リソグラフィー露光を行う電子ビーム投影装置を動作する方法において、ターゲットの運動の方向に直交して電子ビームを走査するステップと、電子源イメージでレチクルの一部を露光するステップとを含み、前記レチクルの一部は、2ミリラジアンより大きい開口数で少なくとも約0.1mmの横断寸法を有する前記ターゲットでのイメージに対応している、ことを特徴とする電子ビーム投影装置の動作方法。

(19) 約5.5mmの最大横断寸法を有するフィールド・サイズにわたって前記電子ビームを走査するステップをさらに含むことを特徴とする上記(18)に記載の電子ビーム投影装置の動作方法。

(20) 前記露光ステップを、約4〜約35マイクロアンペアのビーム電流で行うことを特徴とする上記(18)に記載の電子ビーム投影装置の動作方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の電子ビーム・リソグラフィー露光装置の概略断面図である。

【図2】電子ビーム投影装置の種々の動作パラメータの、解像度への一般的な影響を説明するグラフである。

【図3】サブフィールド・サイズ、フィールド・サイズ／走査長、ビーム電流、レジスト感度の、スループットへの一般的な影響を説明するグラフである。

【符号の説明】

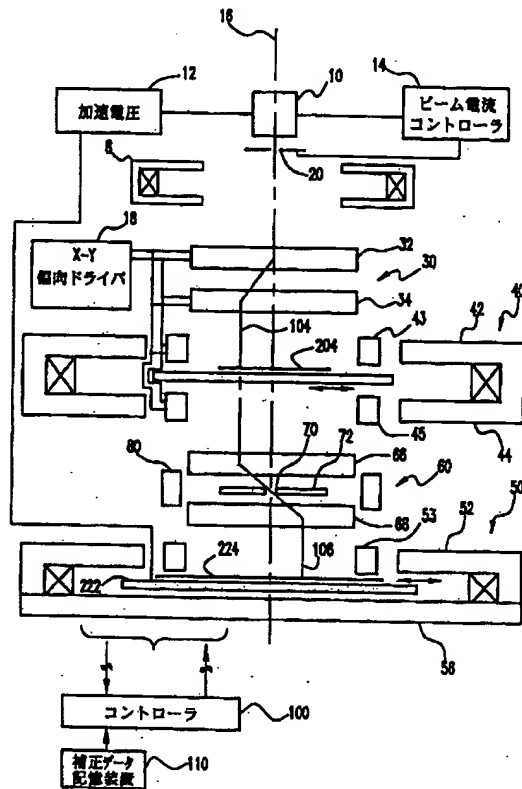
- 8 レンズ
- 10 電子源
- 12, 14 加速電圧源
- 16 装置軸
- 18 偏向ドライバ
- 20 開口
- 30, 60, 66, 68 偏向器
- 40 偏向器
- 32, 34 偏向コイル装置
- 40 レンズ
- 43, 45 軸移動ヨーク
- 42, 44, 52, 56 磁極
- 50 軸可変フォーカシング・レンズ
- 53 ヨーク
- 70 固定開口
- 100 コントローラ
- 104 飛しょう経路
- 110 補正データ記憶装置

204 レチクル

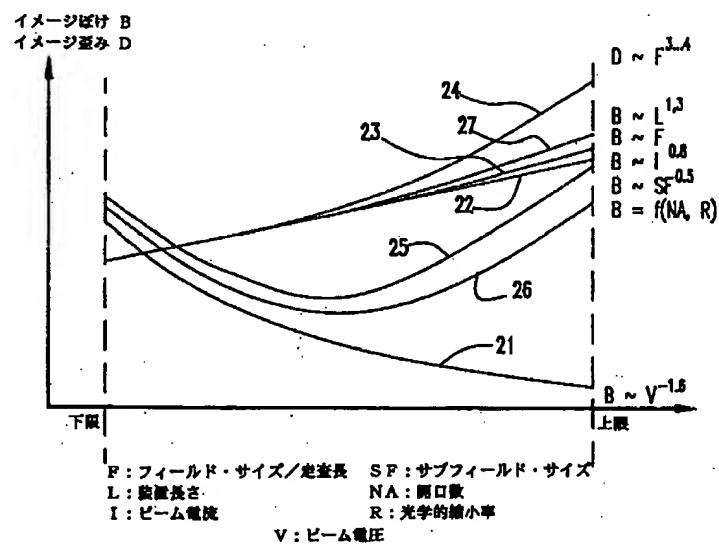
224 ターゲット・ウェハー

222 位置決め並進テーブル

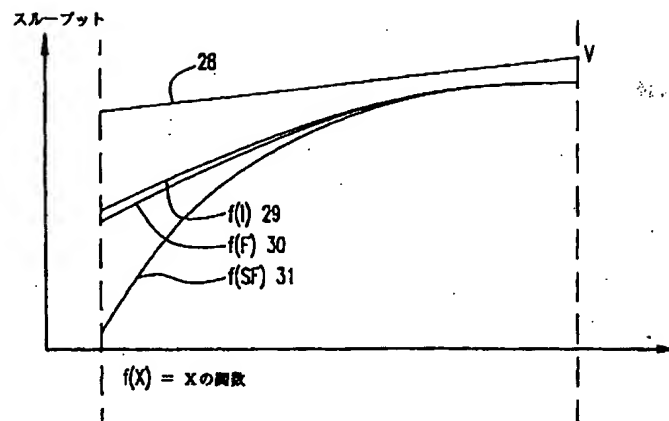
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 ポウル・エフ・ベトリック
 アメリカ合衆国 94588 カリフォルニア
 州 プレザントン アンドリュース ドラ
 イブ ナンバー206 3490

(72)発明者 ハンス・シー・プフェイファー
 アメリカ合衆国 06877 コネティカット
 州 リッジフィールド ケッチャム ロー
 ド 25

(72)発明者 バーナー・スティッケル
 アメリカ合衆国 06877 コネティカット
 州 リッジフィールド スカイ トップ
 ロード 51